

## Pulvérisation de produits liquides Objets lourds ou encombrants

**ED 906** • mise à jour avril 2015

© INRS • ISBN 978-2-7389-1115-3 • Disponible uniquement en version électronique  
Exécution maquette : Atelier Causse

Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles  
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00 • [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) • [info@inrs.fr](mailto:info@inrs.fr)

---

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite.  
Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4  
du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de  
300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

Annule et remplace le Guide pratique de ventilation n° 10 (ED 713)

## 9.3. Application par pulvérisation de produits liquides – Cas particulier des objets lourds ou encombrants

**Au delà des textes réglementaires, des rappels des principaux risques et des principes de base, ce guide propose un dossier technique pour neuf réalisations industrielles existantes, conçues pour la peinture d'objets lourds ou encombrants. Pour chacune d'elles, les auteurs veillent à présenter et décrire l'installation, ils en donnent les caractéristiques techniques puis le mode de fonctionnement.**

**Des mesures de vitesses d'air ont été effectuées sur chaque site, et les résultats sont fournis sur les schémas de principe. Enfin, chacune des réalisations est commentée afin d'expliquer la pertinence de ses choix techniques, ses avantages, ses inconvénients, ainsi que ses limites.**

● cabine de peinture ● hall de peinture ● application ● ventilation

**L**e présent document a été établi par un groupe de travail constitué sous l'égide de la CNAMTS, et comprenant des spécialistes en ventilation et nuisances chimiques de la CNAMTS, des CARSAT/CRAMIF et de l'INRS.

Il a été préparé dans le but de servir de guide et de document de référence, à l'usage des personnes et organisations concernées par la conception, la construction, l'exploitation et le contrôle des installations ventilées d'application par pulvérisation de produits liquides (peintures, vernis, etc.), spécialement conçues pour la peinture d'objets lourds ou encombrants. Seuls les points essentiels relatifs à la ventilation ont été traités.

En ce qui concerne les nuisances chimiques, l'objectif minimal à atteindre est le maintien de la salubrité des locaux de travail.

Plusieurs organismes ont été consultés :

- Syndicat général des industries de matériels et procédés pour les traitements de surface (SITS) ;
- Syndicat national des entreprises d'application de revêtements et de traitements de surface (SATS) ;

- Syndicat de la construction métallique de France (SCMF) ;
- Union des industries d'équipements (MTPS) ;
- Syndicat des industries de matériels de manutention (SIMMA).

Ce guide de ventilation sera réexaminé régulièrement et au besoin modifié. Le groupe de travail demande à toute personne, ou organisme, ayant des avis ou critiques à formuler sur ce document, de bien vouloir les lui faire connaître (commentaires à adresser à l'INRS, en faisant référence au groupe de travail ventilation n° 9.3).

### 1. Domaine d'application

Les matériels lourds ou encombrants ont pour caractéristiques essentielles d'être des objets indémodifiables, difficiles à déplacer, et d'avoir souvent une grande dimension (grande longueur, grande hauteur) ou

d'être d'un gros volume. Les travaux d'application de produits liquides sur des matériels de petites ou moyennes dimensions sont traités dans le Guide pratique de ventilation n° 9.1 dont les préconisations permettent jusqu'à la réalisation de cabines de peintures pour bus ou poids lourds.

Ce nouveau document présente un ensemble de dispositions pratiques permettant de rendre les solutions proposées dans le guide n° 9.1 applicables à des subjectiles lourds ou encombrants. La mise en place de ces solutions devra découler d'une réflexion concertée entre l'utilisateur, le fabricant et la CARSAT ou la CRAMIF.

Les opérations de poudrage sont traitées dans le Guide pratique de ventilation n° 9.2.

Pour rendre la lecture du texte plus aisée, on parlera, dans les paragraphes qui vont suivre, d'application de peinture et vernis ainsi que de peintures. Les analyses et préconisations effectuées restent cependant valables pour d'autres produits liquides appliqués par pulvérisation (colles, encres, etc.) avec éventuellement quelques légères adaptations.

## 2. Textes réglementaires - Rappel des risques

### 2.1. Textes réglementaires

- Code du travail, articles R. 4212-1 à R. 4212-7 et articles R. 4222-1 à R. 4222-26 : aération, assainissement des locaux.

- Code du travail, articles R. 4312-1 à R. 4312-5 : règles techniques de conception des équipements de travail.

- Décret n° 47-1619 du 23 août 1947 modifié et circulaires d'application Tr 106/47 du 24 décembre 1947 et TE 24/74 du 13 mai 1974 relatifs à la protection des ouvriers qui exécutent des travaux de peinture ou de vernissage par pulvérisation.

- Arrêté du 3 mai 1990 relatif à l'application du décret n° 90-53 du 12 janvier 1990 et précisant les vitesses de ventilation des cabines de projection destinées à l'emploi de peintures liquides ou de vernis.

- Circulaire DRT n° 90/7 du 9 mai 1990 relative à l'application du décret n° 90-53 du 12 janvier 1990.

- Code du travail, articles R. 4412-1 à R.4412-160 : mesures de prévention des risques chimiques.

- Code du travail, article R. 4624-18 fixant la liste des expositions nécessitant une surveillance médicale renforcée pour les salariés concernés.

- Tableaux de maladies professionnelles : 1, 4, 4 bis, 10, 10 bis, 12, 49, 49 bis, 51, 62, 65, 84.

- Code du travail, articles R. 4227-42 à R.4227-54 et R. 4216-31 : prévention des explosions.

- Décret n° 96-1010 du 19 novembre 1996 modifié relatif aux appareils et aux systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosible.

- Arrêté du 8 juillet 2003 complétant l'arrêté du 4 novembre 1993 relatif à la signalisation de sécurité et de santé au travail.

- Arrêté du 8 juillet 2003 relatif à la protection des travailleurs susceptibles d'être exposés à une atmosphère explosible.

- Arrêté du 28 juillet 2003 relatif aux conditions d'installation des matériels électriques dans les emplacements où des atmosphères explosives peuvent se présenter.

- Circulaire DRT n° 11 du 6 août 2003 commentant l'arrêté du 28 juillet 2003 relatif aux conditions d'installation des matériels électriques dans les emplacements où des atmosphères explosives peuvent se présenter.

- Réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement :

- Arrêté type 2940 : Application, cuisson, séchage de vernis, peinture, apprêt, colle, enduit, etc. sur support quelconque.

- Arrêté type 2930 : Ateliers de réparation et d'entretien de véhicules et engins à moteur, y compris les activités de carrosserie et de tôlerie.

- Articles R. 224-48 à R. 224-59 du code de l'environnement et arrêté du 29 mai 2006 modifié relatifs à la réduction des émissions de composés volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicule.

Il est à noter que des normes européennes concernant les prescriptions de sécurité des cabines d'application et de séchage des peintures liquides ont été publiées (NF EN 12215 et NF EN 13355). Elles ne sont pas applicables en France, celle-ci ayant déposé une objection formelle à leur encontre auprès de la Commission européenne. Une nouvelle norme regroupant le champ des deux précédentes normes ainsi que de la norme NF EN 12981 sur les installations d'application de revêtements en poudre est en préparation.

### 2.2. Rappel des principaux risques

Les peintures et vernis utilisés dans l'industrie présentent des risques d'intoxication, d'incendie et d'explosion.

■ **Le risque d'intoxication** chronique ou aiguë est toujours plus ou moins présent et peut notamment être dû :

- aux solvants (hydrocarbures, cétones, esters, alcools, etc.) ;

- aux durcisseurs de certains liants (amines, isocyanates) ;

- aux pigments (composés du plomb, du chrome, etc.) ;

- aux adjuvants (composés dangereux des peintures antissalissures, fongicides, insecticides, etc.).

Les peintures polyuréthanes, utilisées avec un durcisseur à fonctions isocyanate, présentent des risques supplémentaires à cause de l'action irritante et sensibilisante du durcisseur qui peut se manifester après inhalation de l'aérosol, même en faible quantité (maladie professionnelle n° 62).

■ **Le risque d'incendie** est dû aux solvants et diluants inflammables. Il est d'autant plus important que le point d'éclair de la peinture ou du vernis employé est faible (le point d'éclair est la température minimale à laquelle, dans des conditions d'essais spécifiées, un liquide émet suffisamment de gaz inflammable capable de s'enflammer momentanément, en présence d'une source d'inflammation).

Ce risque d'incendie est à craindre surtout dans :

- les locaux de stockage et de préparation des peintures, vernis et diluants ;

- les gaines d'évacuation d'air pollué où des dépôts se forment sur les parois ;

- les récipients et les bennes destinés à recueillir les chiffons, papiers et déchets imprégnés de peintures siccatives qui s'échauffent par oxydation à l'air ;

- les filtres secs colmatés par les dépôts de vieilles peintures.

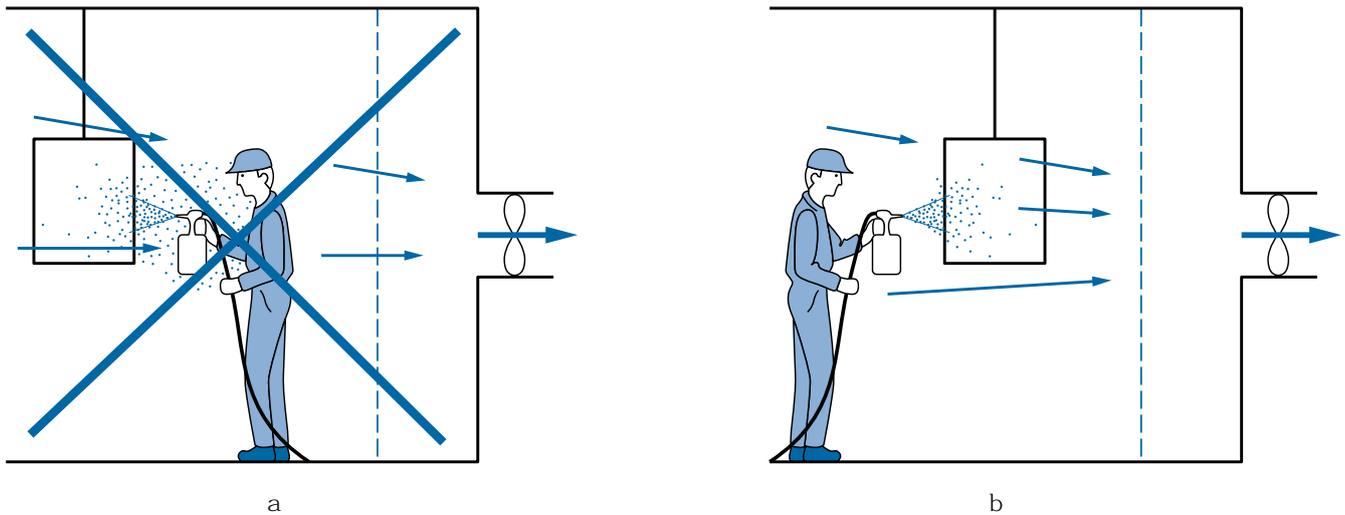
■ **Le risque d'explosion** est dû aux vapeurs de solvants inflammables. Il faut veiller à maintenir leur concentration dans l'air en dessous du quart de la limite inférieure d'explosivité (LIE) qui est la concentration minimale en volume à partir de laquelle l'explosion du mélange peut se produire.

## 3. Principes de base

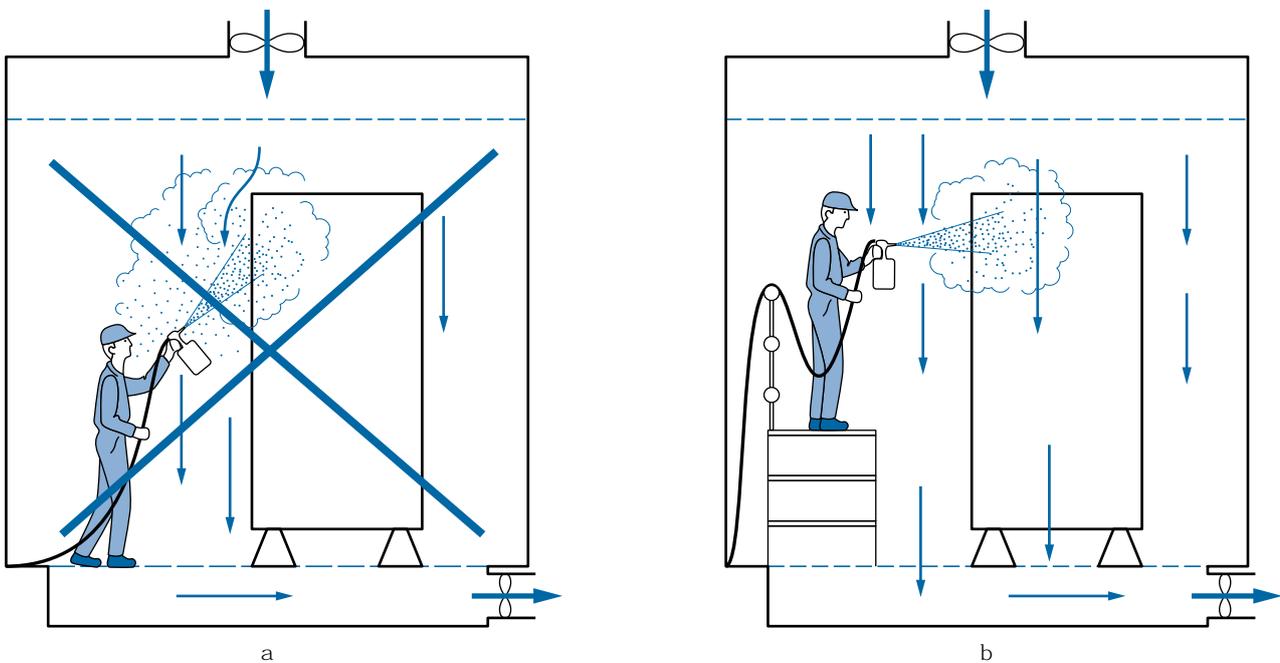
### 3.1. Généralités

Toutes les fois que ce sera techniquement possible, on placera les objets à peindre dans des cabines ou des tunnels équipés de dispositifs efficaces d'évacuation des vapeurs et aérosols de peinture.

Les données faisant l'objet du présent



**Fig. 1. a) Mauvaise position : l'aérosol et les vapeurs de solvants reviennent vers le peintre. b) Bonne position : le peintre reste dans un courant d'air neuf.**



**Fig. 2. a) Mauvaise position : l'aérosol est rabattu vers le visage du peintre. b) Bonne position : le peintre reste en dehors de l'aérosol.**

guide de ventilation ont pour but la réalisation d'installations d'application de produits liquides (peintures, vernis, etc...) permettant d'assurer la protection de l'opérateur contre les risques d'intoxication, d'incendie et d'explosion lors de la mise en peinture d'objets lourds ou encombrants. Le séchage qui présente des risques importants ne doit pas non plus être négligé.

Quelques principes généraux concernant la prévention des risques d'intoxication, d'incendie ou d'explosion sont à retenir :

- le peintre doit toujours travailler dans une atmosphère salubre ;

- si la partie à peindre est située en hauteur, il doit disposer de moyens lui permettant de maintenir ses voies respiratoires au dessus de l'aérosol de peinture ; la ventilation doit être conçue de telle sorte que l'opérateur à son poste de travail, pendant une application, soit placé dans un flux d'air homogène non pollué (*fig. 1 et 2*) ; pour ceci, on privilégiera chaque fois que c'est techniquement possible et que le subjectile le permet, une ventilation verticale descendante ;

- lorsque l'objet à peindre peut, durant toute l'opération, être disposé entre le peintre et un dispositif d'aspiration, on pourra admettre un flux d'air horizontal ;

- l'atmosphère de l'espace de peinture ne doit jamais être explosive ; les installations doivent être conçues et aménagées de façon que, pendant l'application ou le séchage, la concentration en vapeurs de solvants inflammables dans l'air au poste de travail ne soit jamais supérieure à 0,2 % en volume ;

- le fonctionnement des pistolets de pulvérisation doit être asservi au fonctionnement de la ventilation ;

- les dispositifs d'éclairage de l'installation seront asservis, pendant le pistolage, à la zone ventilée ;

- un dispositif doit rendre impossible le recyclage pendant la phase d'application de la

peinture car l'opérateur doit rester dans un flux d'air neuf ;

- en position séchage, un dispositif de sécurité doit agir de façon que l'application de peinture ne soit pas possible.

Dans tous les cas, une attention particulière doit être portée à la compensation de l'air extrait, sous peine d'altérer gravement les performances du système de ventilation.

### 3.2. Types d'installations

L'installation peut être à ventilation verticale ou à ventilation horizontale. Dans chaque catégorie, il existe des installations fermées et des installations ouvertes. La nature du subjectile, les moyens nécessaires à sa manutention ainsi que sa configuration doivent guider l'utilisateur vers le choix de l'un ou l'autre de ces matériels, sachant que, généralement, la disposition à préférer est celle de la cabine fermée à ventilation verticale, plus à même d'assurer l'objectif principal : maintenir le peintre dans un flux d'air neuf. Certaines installations peuvent être équipées de pistolets automatiques montés sur des robots.

### 3.3. Réalisation

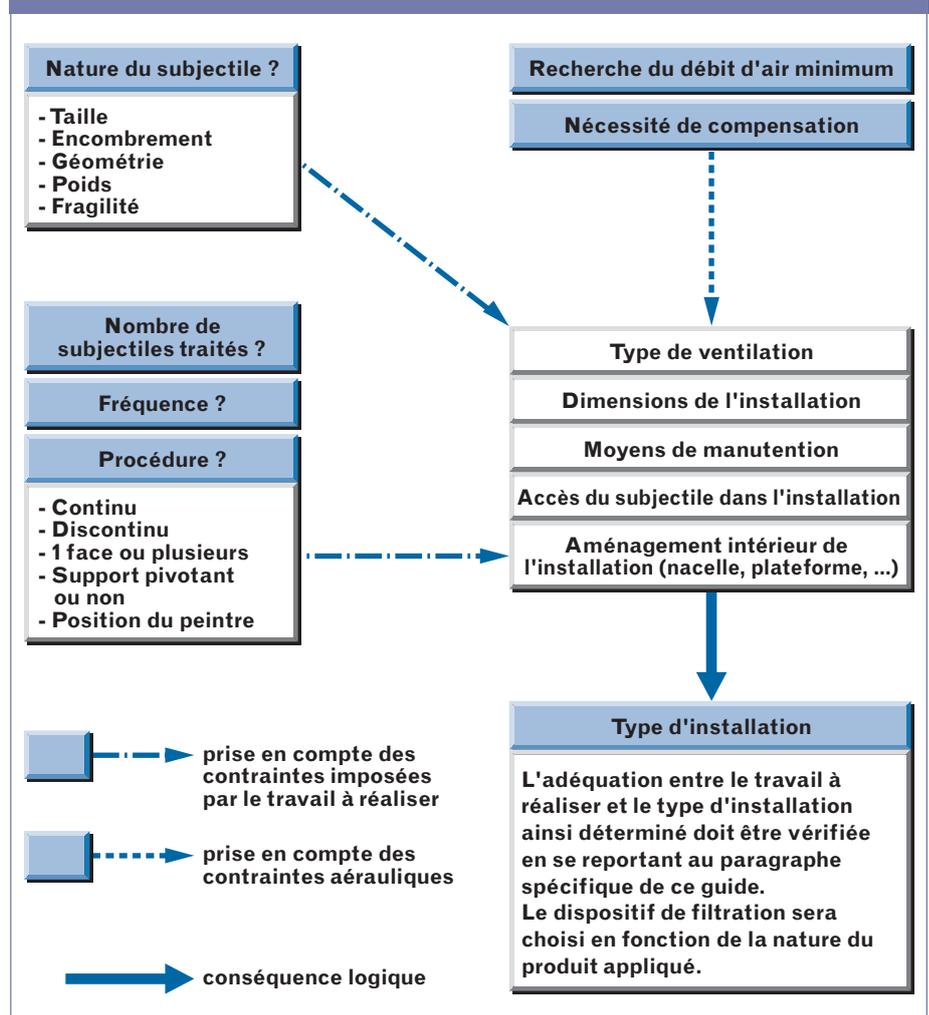
Pour choisir une installation adaptée au travail à effectuer, il faut tenir compte de plusieurs paramètres et notamment de la nature des subjectiles à peindre. En effet, les subjectiles lourds ou encombrants peuvent présenter une seule dimension principale (poutrelles, profilés, canalisations, conduits...), deux dimensions principales (panneaux, cloisons, banches, éléments de charpente, châssis...) ou trois dimensions équivalentes (conteneurs, citernes, presses, élévateurs, engins de travaux publics, fûts de grues, pylônes...). Ils peuvent être pleins ou ajourés, massifs, creux... Ces caractéristiques conditionnent les solutions techniques envisageables (*encadré 1*).

Par ailleurs, plusieurs configurations sont envisageables pour la mise en peinture des subjectiles à une ou deux dimensions principales, configurations qui conditionneront le choix des solutions de ventilation ; par exemple, un panneau présenté à l'horizontale ne peut pas être peint dans la même installation que s'il est présenté verticalement. Ce facteur n'intervient pas dans le cas des subjectiles dont les trois dimensions sont du même ordre de grandeur.

Enfin, le peinturage de l'intérieur des subjectiles creux conduit à des configurations tout à fait particulières qui ne sont pas traitées dans ce guide. On pourra se référer au Guide pratique de ventilation n° 8 : Ventilation des espaces confinés.

#### ENCADRÉ 1

### Démarche à suivre pour choisir une installation adaptée au travail à réaliser



Les critères de débit et de renouvellement d'air d'une installation de peinture ne permettent pas de caractériser l'efficacité de la ventilation. Seules la vitesse de l'air, sa direction et l'homogénéité de sa répartition en sont représentatives. Des logiciels de simulation peuvent apporter une aide à la conception d'installations particulières. L'air introduit doit être préalablement réchauffé à une température permettant des conditions de travail satisfaisantes pour le peintre et adaptée au produit appliqué. Les dispositifs de réchauffage de l'air introduit sont décrits dans le Guide pratique de ventilation n° 9.1.

## ENCADRÉ 2

## Aires ventilées

**Généralités**

Une aire ventilée est une zone plane située au niveau du sol de l'atelier et reliée à une fosse équipée d'un système d'aspiration mécanique.

Les aires ventilées ne sont jamais conseillées lors de la première approche d'un problème de prévention. Elles présentent en effet deux inconvénients principaux :

- la vitesse d'air décroît rapidement lorsqu'on s'éloigne du sol
- les aires ventilées sont très sensibles aux courants d'air.

L'INRS et les CARSAT/CRAMIF ont mené récemment une étude sur site et par ventilation prévisionnelle (EOL-3D) de ce type d'installation<sup>(1)</sup>. L'étude sur site a mis en évidence les

défauts aérauliques de fonctionnement des aires alors que l'étude d'optimisation par ventilation prévisionnelle a permis de valider un certain nombre d'hypothèses d'amélioration.

**Améliorations à la conception**

Un certain nombre de dispositions vont améliorer la qualité de la ventilation au-dessus d'une aire ventilée donc son efficacité.

- Le débit utilisé doit permettre d'atteindre une vitesse d'air verticale descendante de 0,4 m/s à hauteur des voies respiratoires de l'opérateur.
- Le caillebotis doit couvrir complètement la surface au sol et le débit d'extraction doit être réparti uniformément sous ce caillebotis ; en plus des filtres dont le but est d'arrêter l'aérosol de peinture, la fosse doit donc

contenir des dispositifs de répartition du flux d'air (répartiteurs, tôle à faible taux de perforation, etc.).

- Un soufflage d'air de compensation dirigé à basse vitesse facilite l'entraînement des polluants vers le caillebotis aspirant limitant ainsi leur dispersion dans tout l'atelier.
- L'installation, autour de ce caillebotis, de parois verticales de hauteur supérieure à celle du subjectile améliore également la situation. Le haut de ces parois doit être équipé de pans coupés à 45° vers l'extérieur.

**Cependant, l'intégration de toutes ces améliorations conduit à reconstituer une cabine de peinture.**

<sup>(1)</sup> Améliorer le fonctionnement d'une aire ventilée avec paroi et compensation mécanique, ND 2111, INRS, Paris, 1999

## 4. Dossiers techniques

Ces dossiers correspondent à des réalisations industrielles existantes. La solution adoptée n'est pas forcément la seule envisageable. Le choix du système de ventilation résulte d'un compromis entre des performances techniques optimales et des impératifs d'exploitation. Les caractéristiques de l'installation n'ont pas toujours été optimisées. On trouvera dans le paragraphe « commentaires » de chacun de ces dossiers les raisons qui ont conduit au choix de cette solution, ses avantages, ses inconvénients et ses limites techniques.

### 4.1. Cabine de peinture fermée à ventilation verticale descendante fractionnée

#### Présentation et description de l'installation

La cabine de peinture à ventilation fractionnée est destinée aux travaux d'application de peintures liquides sur des subjectiles de grandes dimensions, essentiellement par leur longueur (voitures de métro, tramways, cars).

La conception de ce mode de ventilation nécessite (fig. 3) :

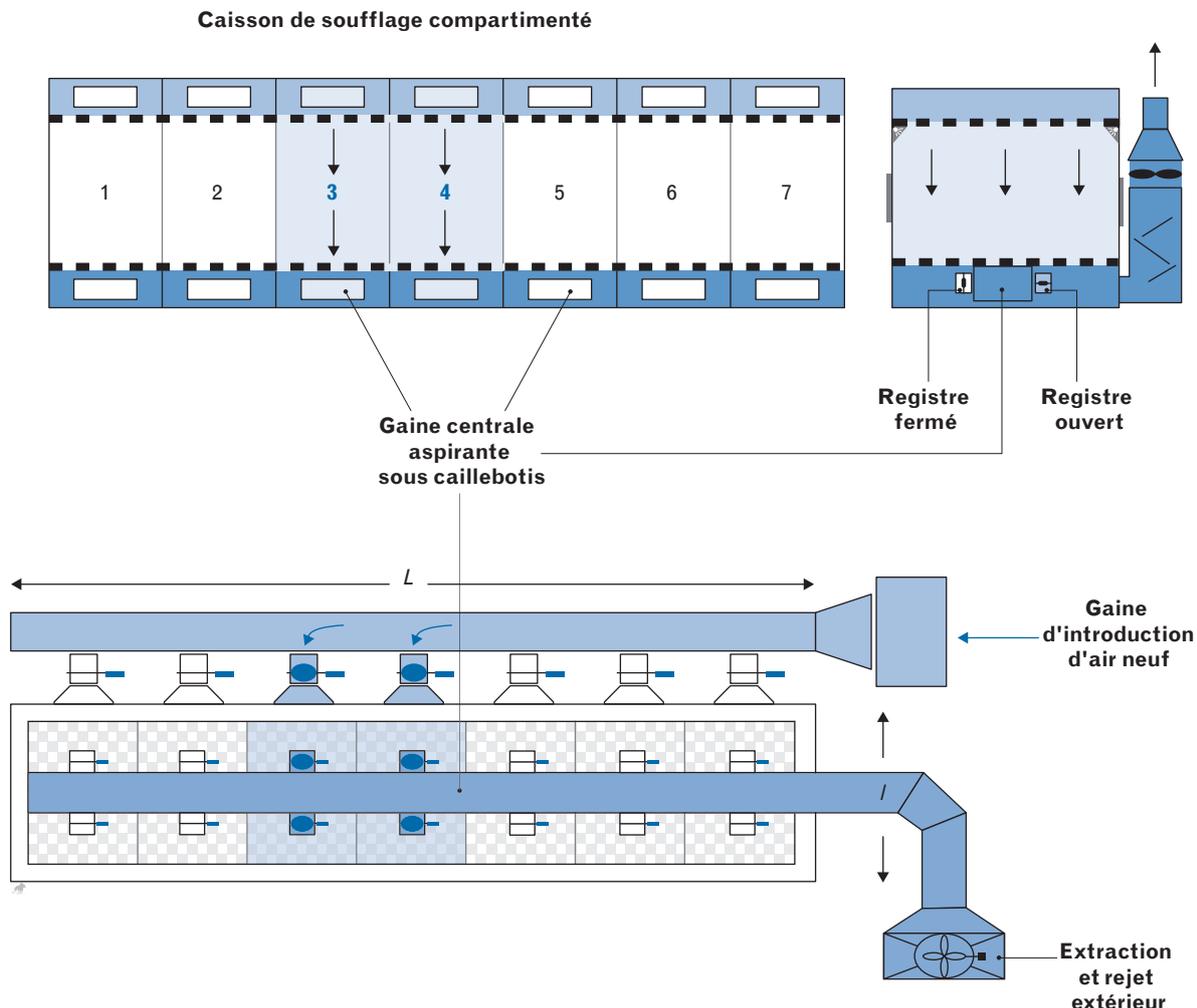
- Au niveau de l'introduction d'air neuf :
  - de compartimenter le plafond de soufflage de caissons indépendants de 3 m de longueur unitaire.
  - de réaliser autant de piquages que de caissons se raccordant à une gaine collective d'introduction d'air neuf, pris à l'extérieur et réchauffé en période froide de l'année par un dispositif de chauffage approprié.

- de placer sur chaque piquage un registre motorisé permettant d'ouvrir ou de fermer la ventilation sur le caisson correspondant.

■ Au niveau de l'extraction :

- de compartimenter la fosse aspirante d'autant de fosses indépendantes qu'il y a de caissons de soufflage (même longueur unitaire).
  - de placer dans la fosse ou à l'extérieur de celle-ci une gaine collective d'extraction rejetant l'air pollué (après épuration) à l'extérieur.
  - d'équiper cette gaine de registres motorisés permettant d'ouvrir ou de fermer la ventilation sur la fosse correspondante.
  - de prévoir, si la gaine collective est placée en dehors de la fosse, des piquages pour raccorder chaque fosse à la gaine collective.
- Au niveau des équipements de la cabine :
- de prévoir une nacelle de travail pour le pistolage (de chaque côté), dont le changement de position le long de la cabine entraînera la ventilation automatique des deux zones contiguës.

Fig. 3. Schéma de principe d'une cabine de peinture fermée à ventilation verticale descendante fractionnée.



## Caractéristiques

- Dimensions utiles de la cabine :  
L = 34 m, l = 5 m, H = 4,5 m
- Nombre de zones de 3 m = 11
- Nombre de zones de 3 m ventilées simultanément = 2, soit moins de 20 % de la surface de la cabine
- Débit de ventilation = 55 000 m<sup>3</sup>/h
- Puissance calorifique = 450 kW

## Mode de fonctionnement

La position de la nacelle de travail est repérée par des contacteurs judicieusement positionnés le long de la cabine, lesquels mettent automatiquement en service les servo-moteurs actionnant les registres des deux caissons contigus et des deux fosses correspondantes, constituant la zone ventilée où se trouve la nacelle.

Lorsque la ventilation s'effectue par exemple sur les zones 3 et 4, le déplacement de la nacelle entraîne sans interruption : l'arrêt de la zone 3, le maintien de la zone 4 et la mise en service de la zone 5.

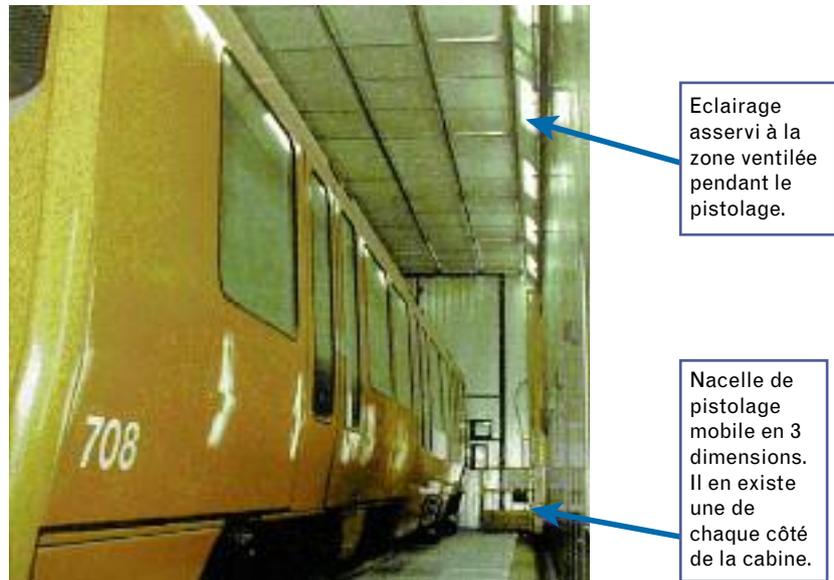
## Validation (fig.4)

Ces mesures ont été effectuées zone par zone en suivant le déplacement du peintre

## Commentaires

Ce type de ventilation n'est envisageable que dans des cabines où la ventilation bascule automatiquement d'une zone à l'autre en fonction du déplacement du peintre. Cette disposition est complétée par l'extinction de l'éclairage en dehors de la zone ventilée (fig. 5).

**Fig. 5. Rame de métro dans une cabine de peinture fermée à ventilation verticale descendante fractionnée.**



Eclairage asservi à la zone ventilée pendant le pistolage.

Nacelle de pistolage mobile en 3 dimensions. Il en existe une de chaque côté de la cabine.

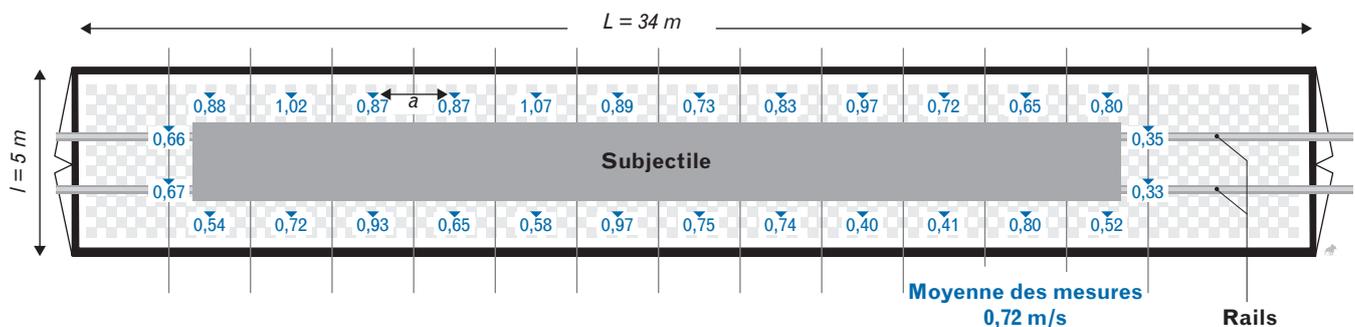
Le changement automatique de zone étant déclenché par la position de la nacelle, ce mode de ventilation n'est pas envisageable dans les cabines où le peintre ne dispose pas d'une nacelle. Il faut cependant veiller à ce que les nacelles ne puissent pas bloquer les issues de secours.

Ce mode de ventilation, fractionnée en multi-zones (plus de 5 zones), est plus particulièrement applicable aux cabines de très grande longueur (au-delà de 15 m) pour les opérations de peinture de subjectiles très longs, lorsqu'il est notamment nécessaire que les pièces pénètrent totalement dans la cabine, par exemple pour permettre ensuite

de les sécher ou de les étuver. Il est d'autant plus intéressant que la longueur du subjectile à peindre est importante puisque la taille de la zone ventilée est constante.

Le surcoût lié à la présence des équipements spécifiques nécessaires pour ce mode de ventilation (servo-moteurs, vérins, registres, etc.) lors de l'investissement, est ensuite vite amorti par l'économie réalisée sur le débit de ventilation par rapport à une cabine ventilée en permanence sur toute sa surface, et par l'économie très importante au niveau du chauffage pendant la période froide (6 voire 9 mois/an dans la région concernée).

**Fig. 4. Résultats des mesurages dans une cabine fermée à ventilation verticale descendante fractionnée comportant 11 zones de 3 m (débit 55 000 m<sup>3</sup>/h), avec subjectile en place.**



### Conditions de mesurage

- points de mesure à 1,5 m du sol et à 0,5 m de la paroi
- a est compris entre 1 m et 1,5 m
- mesures (en m/s) faites en chaque point pendant 60 secondes, en suivant le déplacement du peintre
- chauffage à l'arrêt, température extérieure ≈ 10°C
- appareil DISA 54 N 50

## 4.2. Cabine de peinture ouverte au plafond, à ventilation verticale descendante, comportant un caisson d'introduction d'air neuf mobile au plafond et une fosse aspirante totale au sol

### Présentation et description de l'installation

La cabine de peinture réalisée est destinée aux travaux d'application de peintures liquides sur des subjectiles importants divers tels que citernes, silos, trémies, fours, convoyeurs, charpentes, et de leurs sous-ensembles de dimensions plus réduites.

Ces pièces se caractérisent par leurs dimensions importantes (longueur, largeur, diamètre), leurs poids, nécessitant un moyen de manutention aérienne dans l'atelier d'implantation, lequel est utilisé également pour les opérations de manutention dans la cabine proprement dite, pour introduire ou sortir les pièces.

Cette contrainte de manutention au pont extérieur empêchant la présence d'un caisson fixe de soufflage d'air neuf au plafond de la cabine, il est possible de concevoir un caisson de soufflage partiel mobile, se déplaçant le long de la cabine, au fur et à mesure de la progression de travail du peintre le long du subjectile (fig. 6).

L'intérêt du caisson d'introduction d'air est de favoriser le balayage vertical de l'air vers la fosse aspirante, mais aussi et surtout, de placer l'opérateur dans une zone où l'air est réchauffé en période froide (problème de confort).

Les parois longitudinales de la cabine sont conçues pour servir de chemin de roulement au caisson de soufflage d'air neuf (réchauffé en période froide par chauffage électrique).

Ce chemin de roulement se poursuit au delà de la cabine pour y ranger le caisson si nécessaire afin de pouvoir libérer l'espace aérien intérieur indispensable pour la manutention des grosses pièces.

L'aspiration de l'air pollué est effectuée par une fosse aspirante recouvrant la quasi totalité de la surface de la cabine.

### Caractéristiques

- Dimensions utiles de la cabine :  
L = 15 m, l = 5 m, H = 5 m
- Caisson de soufflage mobile :  
L = 5 m, l = 5 m, H = 0,75 m, de débit  $Q_s = 40\,000\text{ m}^3/\text{h}$
- Chauffage : par 4 batteries électriques totalisant 260 kW ( $\Delta t \sim 19^\circ\text{C}$ )
- Fosse aspirante : L = 15 m, l = 4 m, P = 1,8 m, de débit  $Q_a = 108\,000\text{ m}^3/\text{h}$

### Mode de fonctionnement

Le débit d'extraction de la fosse étant très supérieur à celui introduit par le caisson de soufflage, il est impératif, pour le bon fonctionnement de la ventilation, que les portes de la cabine soient fermées pendant le pistolage, afin que l'air de compensation pénètre en totalité par la partie haute ouverte de la cabine.

Cet air de compensation provient du local d'implantation ouvert qui ne sert que d'abri à la cabine.

Fig. 6. Schéma de principe d'une cabine de peinture ouverte au plafond, à ventilation verticale descendante, comportant un caisson d'introduction d'air neuf mobile au plafond, et une fosse aspirante totale au sol.

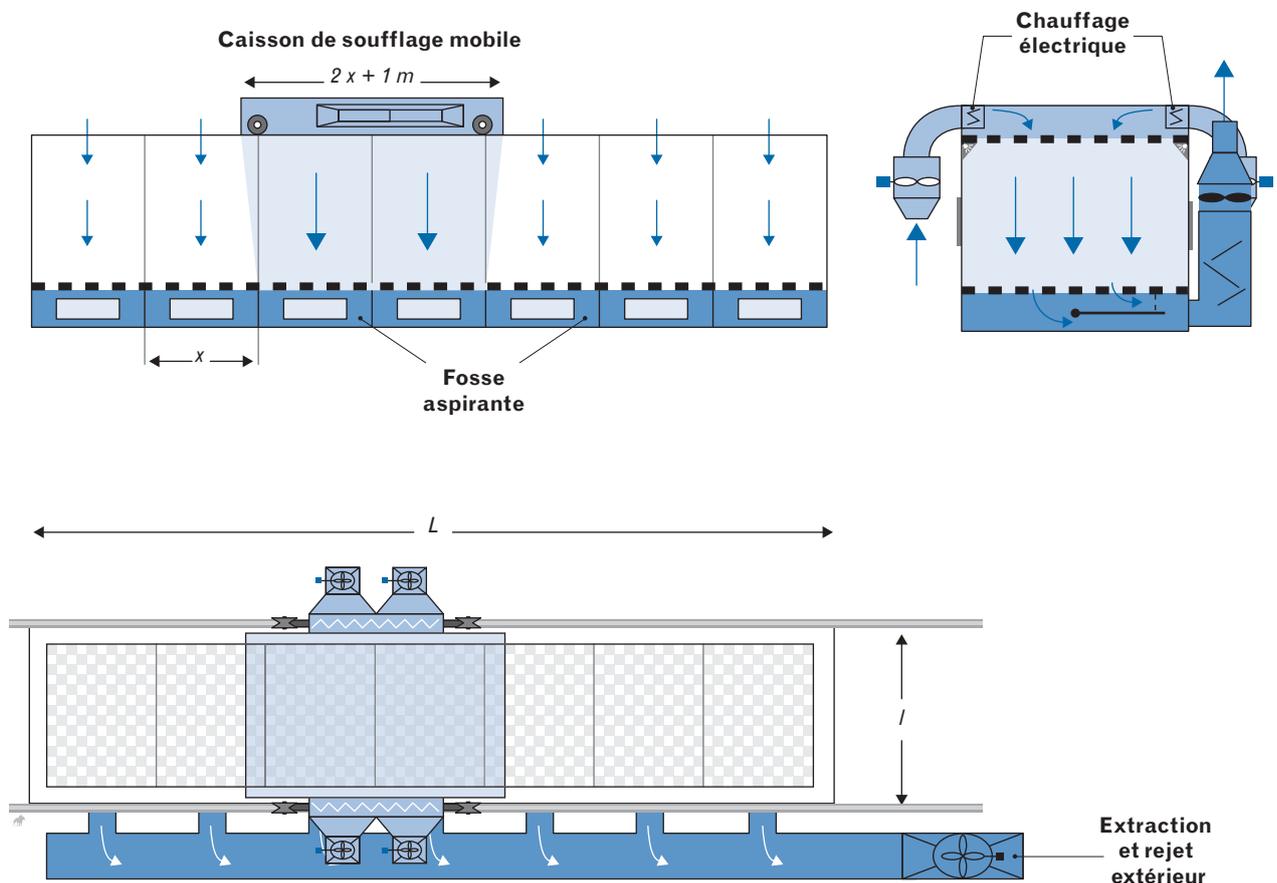
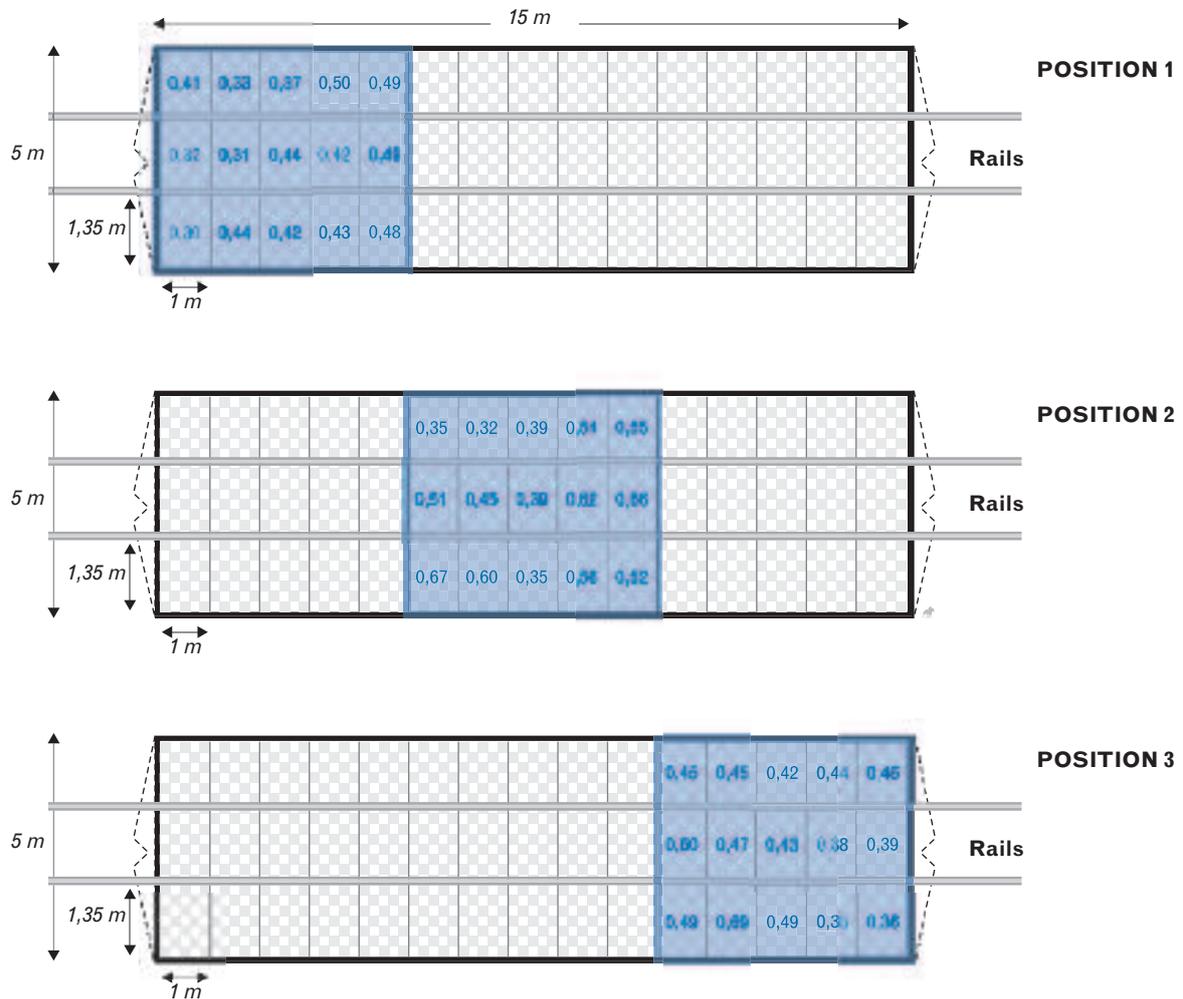


Fig. 7. Mesures des vitesses d'air dans la cabine vide, avec le caisson soufflant dans les positions 1, 2 et 3.



#### Conditions de mesurage

- points de mesurage à 0,90 m du sol
- mesures (en m/s) faites en chaque point pendant 60 secondes

Le caisson de soufflage, monté sur roues motorisées, se déplace par action volontaire de l'opérateur sur le dispositif de commande.

Des dispositifs de sécurité situés aux extrémités de la cabine limitent le déplacement du caisson en dehors de la cabine.

#### Validation (fig.7)

#### Commentaires

Pour des longueurs de l'ordre de celle de cette cabine (15 m) on sait tout à fait réaliser des cabines fermées classiques.

Cependant, à cause de la taille des éléments de charpente à peindre, qui sont manipulés par un pont dans l'atelier, le choix a été fait de disposer d'une ouverture en toiture.

Des mesures de ventilation prévisionnelle EOL 3D – INRS montrent que, dans une telle configuration, la différence de température entre l'air soufflé par le caisson et le reste de l'air de l'atelier où est implantée la cabine a une influence essentielle sur la qualité de la ventilation obtenue. Si cette différence est faible, le prin-

cipe de cabine ouverte avec caisson de soufflage est préférable à celui de la cabine ouverte sans caisson de soufflage.

Par contre, en cas d'écart de température élevé, la configuration avec caisson de soufflage produit des différences de vitesses d'air significatives et entraîne la création d'une zone morte sous le caisson. Dans ce dernier cas, la ventilation obtenue est moins satisfaisante que dans le cas d'une cabine ouverte sans caisson de soufflage.

### 4.3. Cabine de peinture fermée à ventilation verticale descendante en 2 zones indépendantes (1 ou 2) ou complémentaires (1 + 2)

#### Présentation et description de l'installation

Cette cabine est destinée aux travaux d'application de peintures liquides sur des subjectiles très variables par leurs formes et dimensions tels que engins spéciaux sur roues, sur rails, wagons... (fig. 8).

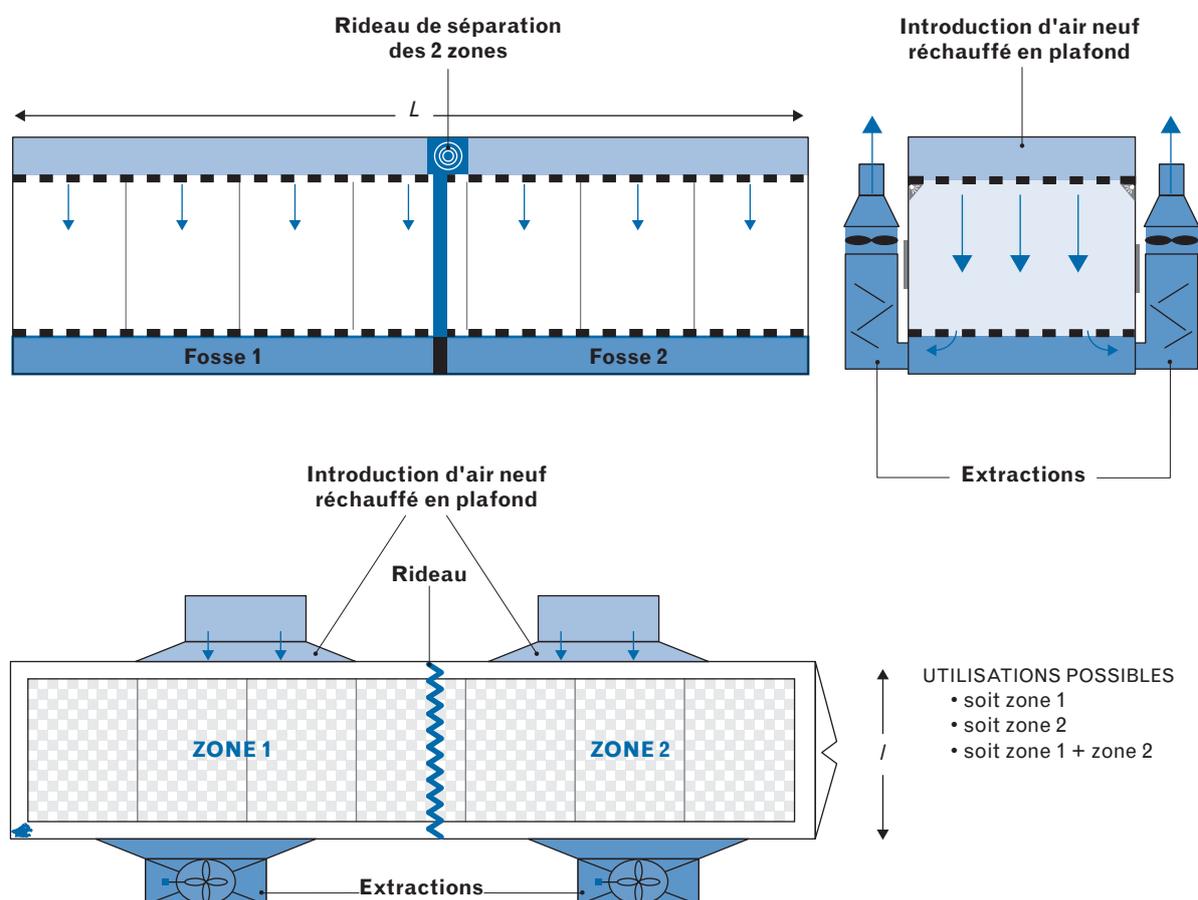
Elle comporte deux zones 1 et 2 de 12,5 m de longueur chacune, pouvant être séparées par un rideau métallique coulissant.

Dans le but de limiter le débit de ventilation et le chauffage à mettre en œuvre lors de la peinture, et en vue de permettre une certaine souplesse d'utilisation de la cabine (peinture en 1, peinture en 2, peinture en 1 + 2, peinture en 1 et étuvage en 2 ou réciproquement), chaque zone est équipée d'un groupe de ventilation indépendant (fig. 9).

Fig. 8. Exemple d'engin encombrant peint dans ce type de cabine.



Fig. 9. Schéma de principe d'une cabine de peinture fermée à ventilation verticale descendante en 2 zones indépendantes ou complémentaires.



## Caractéristiques

- Dimensions utiles de la cabine :  
L = 25 m, l = 5 m, H = 5 m
- Zones principales ventilées simultanément : 1 ou 2, ou 1 + 2
- Débit de ventilation : 90 000 m<sup>3</sup>/h par zone
- Puissance calorifique : 720 kW par zone

## Mode de fonctionnement

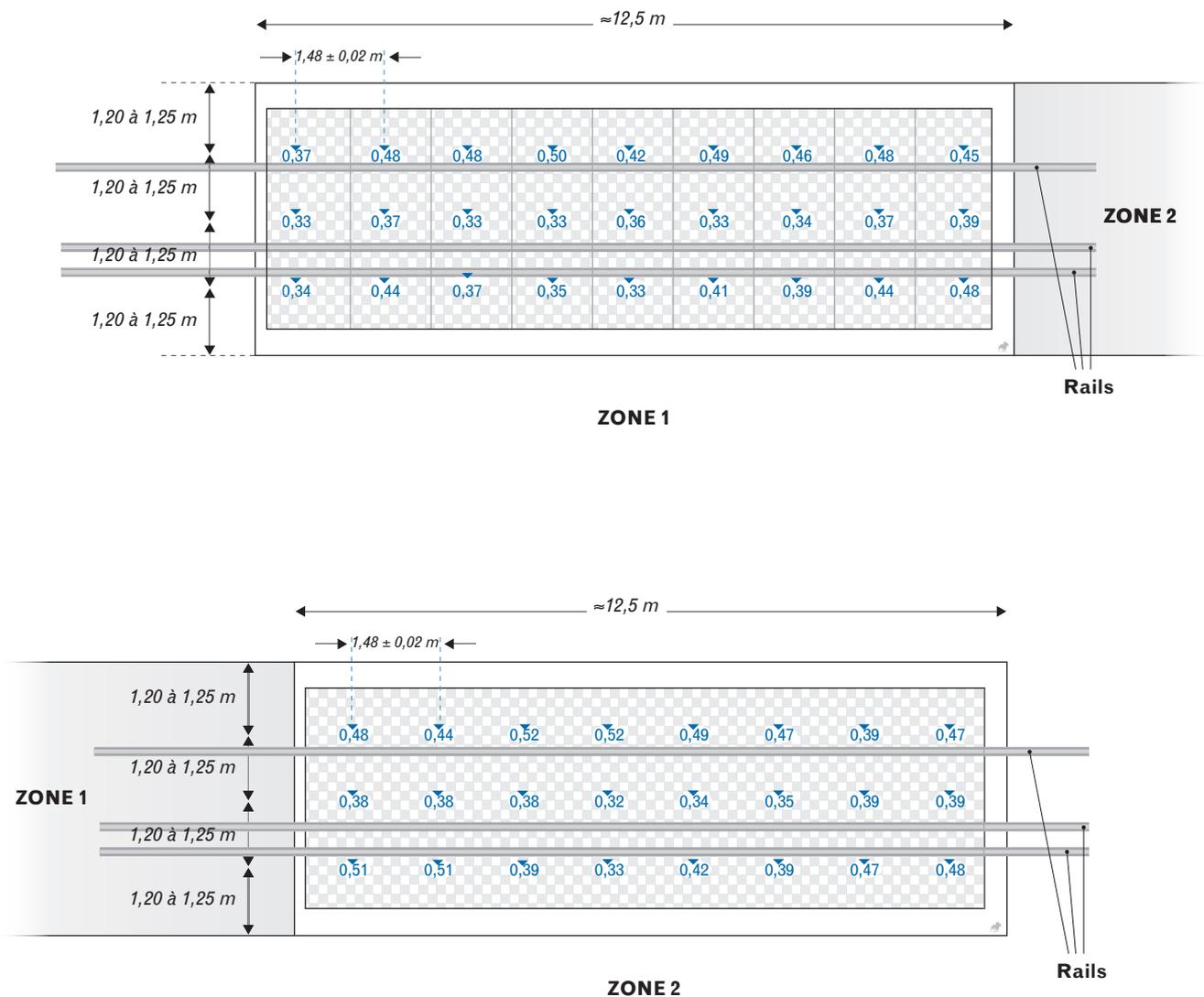
En fonction de la charge de travail et des dimensions du sujet, le pistolage est pratiqué dans l'une des zones (1 ou 2) ou dans toute la cabine (1 + 2). Dans ce dernier cas, le rideau coulissant de séparation des 2 zones peut être relevé.

## Validation (fig.10)

## Commentaires

Cette installation permet de s'adapter à des tailles de subjectiles et à une charge de travail très variables. Sur le plan de la ventilation, chacune de ces configurations correspond à une cabine fermée à ventilation verticale classique.

**Fig. 10. Résultats des mesures des vitesses d'air effectuées dans chacune des zones de la cabine de peinture fermée à ventilation verticale descendante.**



### Conditions de mesurage :

- cabine vide, portes fermées, chauffage à l'arrêt
- température extérieure : 23 à 25°C
- mesure en chaque point à 0,90 m du sol pendant 60 secondes
- appareils DISA 54 N 50

#### 4.4. Cabine de peinture fermée à ventilation verticale descendante en deux zones alternées (1 et 2) avec une zone centrale permanente (3) et une fosse de peinture

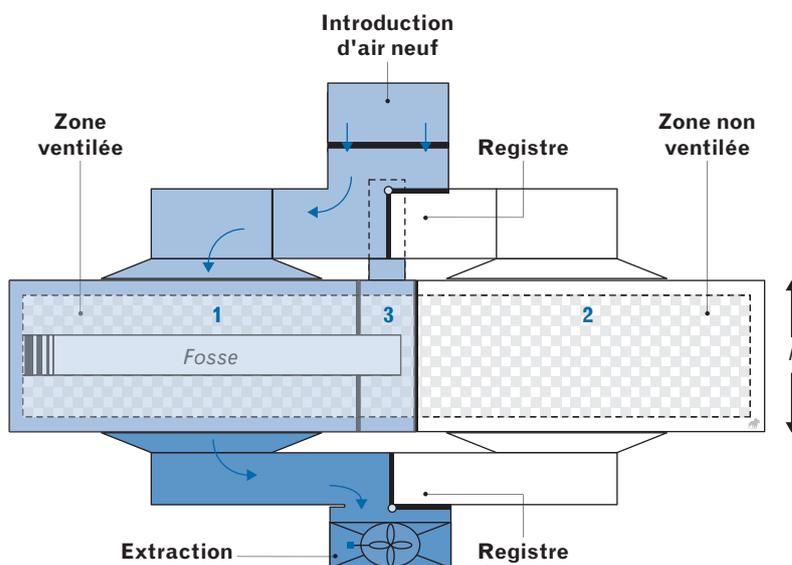
##### Présentation et description de l'installation

Cette cabine est destinée aux travaux d'application de peintures liquides sur des subjectiles de grande longueur, des citernes et des châssis de semi-remorques qui sont peints séparément (fig. 11).

Dans le but de limiter le débit de ventilation et le chauffage à mettre en œuvre lors de la peinture, un mode de ventilation spécifique permettant de ventiler environ 55 % de la cabine, a été conçu (fig. 12).

La cabine comporte deux zones principales (1 et 2) de 8 m chacune, raccordées à l'unique groupe de ventilation, séparées par une petite zone centrale d'environ 1 m (3), ventilée en permanence en complément de la zone en service.

L'activité comporte également la peinture du dessous des châssis de remorques, pratiquée à partir d'une fosse de peinture équipée d'une ventilation verticale ascendante.



**Fig. 12. Schéma de principe d'une cabine de peinture fermée à ventilation verticale descendante en deux zones alternées (1 et 2) avec une zone centrale permanente (3), et une fosse de peinture.**

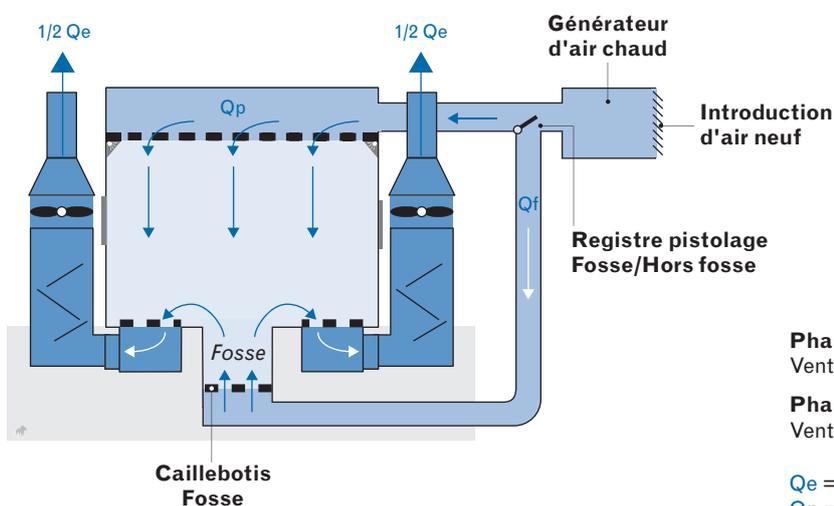
**Fig. 11. Exemple de subjectile peint dans ce type de cabine.**



Fig. 13. Citerne sur son support, avant peinture.



Fig. 14. Coupe transversale (zone 1) d'une cabine de peinture fermée à ventilation verticale descendante en deux zones alternées, avec une zone centrale permanente et une fosse de peinture.



**Phase « Pistelage hors fosse »**  
Ventilation zone 1 + 3 ou 2 + 3 avec  $Q_p = Q_e$

**Phase « Pistelage en fosse »**  
Ventilation zone 1 + 3 dans cabine avec  $Q_p + Q_f = Q_e$

$Q_e$  = quantité d'air extrait  
 $Q_p$  = quantité soufflée par le plenum  
 $Q_f$  = quantité soufflée dans la fosse

Les subjectiles à peindre montés sur roues (châssis) accèdent dans la cabine par simple translation, les autres sont manipulés à l'extérieur de la cabine à l'aide d'un pont roulant, et déposés sur des supports permettant leur translation sur rails à l'intérieur de la cabine (fig. 13).

### Caractéristiques

- Dimensions utiles de la cabine :  
L = 16 m, l = 5 m, H = 5 m
- Débit de ventilation de la cabine :  
70 000 m<sup>3</sup>/h
- Puissance calorifique : 590 kW
- Caractéristiques de la fosse de peinture
  - dimensions utiles : L = 8 m,  
l = 1 m, H = 1,2 m
  - débit de ventilation :  
~ 25 000 m<sup>3</sup>/h, c'est à dire environ  
3 000 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> de fosse

### Mode de fonctionnement

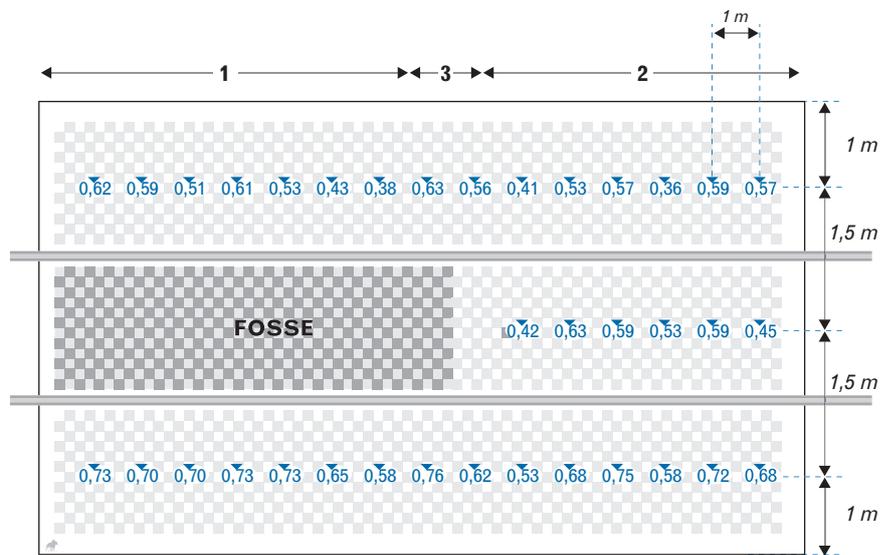
#### Activité de peinture dans la cabine (hors fosse)

L'opérateur sélectionne la phase d'activité « pistolage en cabine » et choisit la zone de cabine à ventiler. Afin de limiter le pistolage à la zone ventilée, seule celle-ci est éclairée.

#### Activité de peinture depuis la fosse de peinture

L'opérateur sélectionne la phase d'activité « pistolage en fosse ». L'air neuf est toujours introduit en même quantité dans la cabine, mais une partie du débit est détournée en direction de la fosse de peinture (fig. 14). Dans celle-ci, l'air est introduit par un plénum de soufflage situé sous le caillebotis sur lequel circule le peintre, afin de créer une ventilation verticale

**Fig. 15. Résultats des mesures des vitesses d'air effectuées dans la cabine de peinture en phase de « pistolage hors fosse ».**



#### Conditions de mesure :

- cabine à vide, chauffage en marche
- température environ 18 ou 19 °C pour une température extérieure inférieure à 5 °C
- mesure en chaque point pendant 60 secondes (Anémomètre DISA 54 N 50)
- points de mesure à 0,90 m du sol dans la cabine

ascendante. L'air pollué est repris par les caniveaux d'extraction situés de part et d'autre de la fosse, aidé en cela par la ventilation descendante « réduite » maintenue dans la cabine. Toute activité de peinture est prohibée dans le reste de la cabine durant le pistolage en fosse au moyen d'un système de verrouillage interdisant la pulvérisation simultanée dans la fosse et dans la cabine à l'extérieur de la fosse.

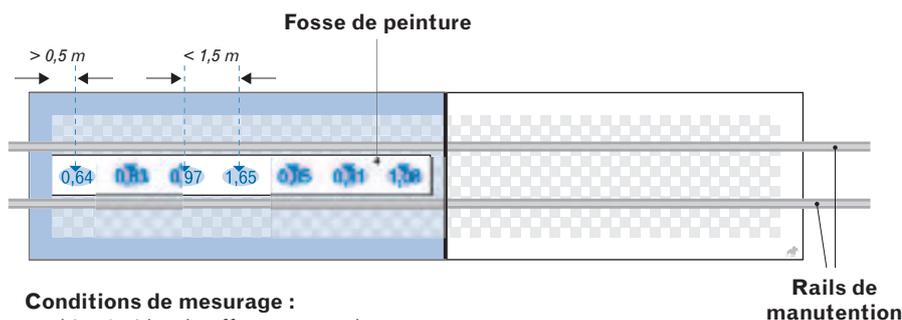
#### Validation (fig. 15, 16 et 17)

### Commentaires

Ce mode de ventilation permet de limiter notablement la longueur ventilée de la cabine et donc de réduire le débit de ventilation et le chauffage nécessaires (plus de 40 % dans le cas présent). Il limite le coût d'investissement par la présence d'un seul groupe de ventilation et de chauffage. L'inconvénient réside dans le fait qu'il n'est pas possible de travailler dans le secteur de cabine non ventilé.

**Fig. 16. Résultats des mesures des vitesses d'air effectuées dans la fosse de la cabine de peinture, en phase de « pistolage en fosse ».**

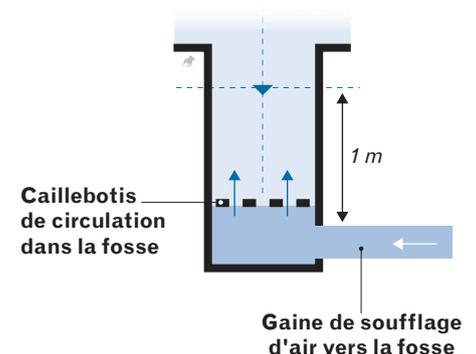
Critères retenus : vitesse moyenne  $\geq 0,7$  m/s avec aucune valeur inférieure à 0,5 m/s.



#### Conditions de mesure :

- cabine à vide, chauffage en marche
- température environ 18 ou 19 °C pour une température extérieure inférieure à 5 °C
- mesure en chaque point pendant 60 secondes (Anémomètre DISA 54 N 50)
- points de mesure à 1 m du sol dans la fosse

**Fig. 17. Localisation des points de mesure sur la coupe transversale de la fosse.**



## 4.5. Peinture de tubes dans une cabine avec peintre à l'extérieur

### Présentation et description de l'installation

Cette cabine a été spécialement conçue pour peindre des tubes d'une longueur de 6,50 m, issus de préfabrication, c'est-à-dire comportant quelques accessoires simples. Les diamètres sont variables mais peuvent être assez faibles (de l'ordre de 30 mm).

La cabine est entièrement fermée hormis une fenêtre de dimensions nécessaires pour l'application au moyen d'un pistolet, le peintre se trouvant à l'extérieur. Cette fenêtre est rendue mobile grâce à une paroi accordéon (*fig. 18*). Des portes aux extrémi-

tés permettent l'introduction des chariots supportant les subjectiles puis leur évacuation vers une enceinte de séchage.

### Caractéristiques

Une vitesse moyenne de 0,5 m/s (avec aucun point inférieur à 0,4 m/s) est générée dans l'ouverture de façon à assurer l'absence d'échappement d'aérosols ou de vapeurs de solvant à l'extérieur.

Le débit mis en œuvre pour l'obtention de ces vitesses est limité à 4 000 m<sup>3</sup>/h.

### Mode de fonctionnement

Pour gagner du temps (manutention et peinture) l'application est effectuée sur plusieurs tubes simultanément. Les tubes sont

placés sur des supports maintenant un espace entre eux.

Ces supports sont munis de roulettes et leur déplacement se fait sans motorisation.

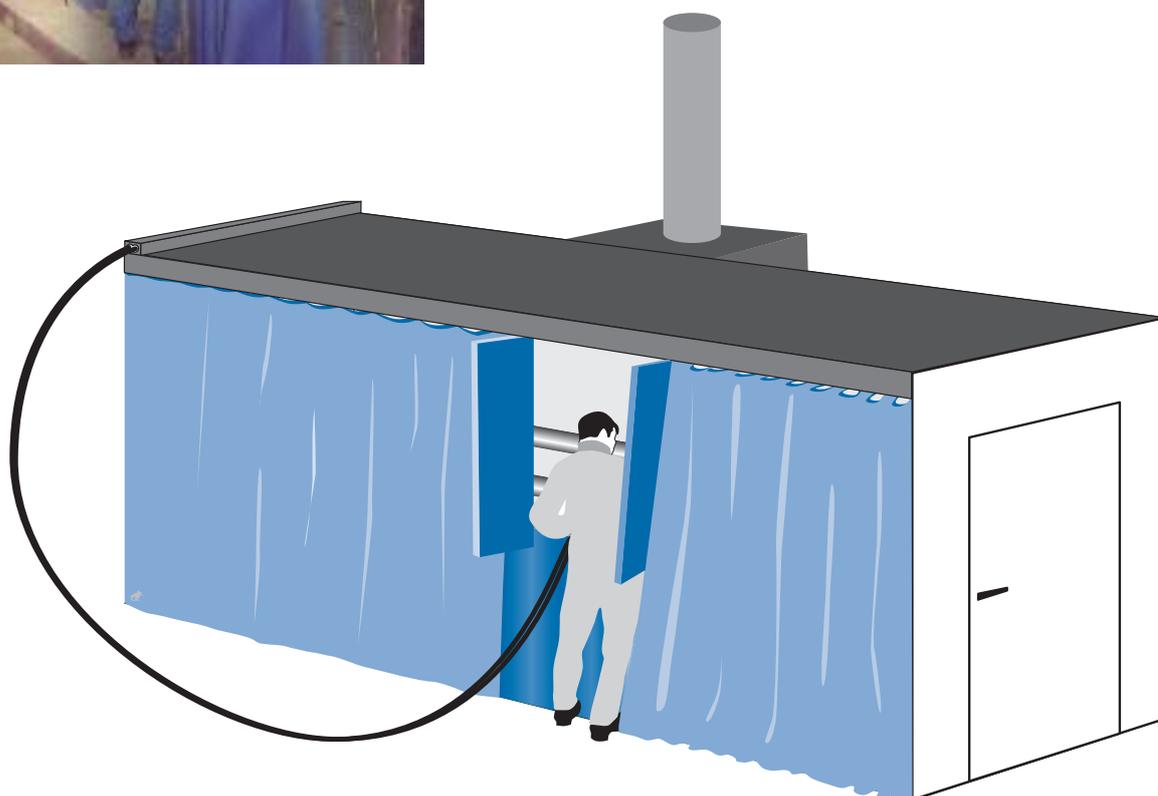
Une fois introduits dans la cabine, les tubes présentés sur le support sont peints par l'opérateur qui déplace la fenêtre mobile en cours de pistolage, au fur et à mesure de son avancement.

### Commentaires

L'étude des solutions traditionnelles de cabine à ventilation verticale ou à ventilation horizontale aboutissait à des débits dix fois plus importants, de l'ordre de 40 000 m<sup>3</sup>/h.

Cette solution présente l'avantage de faire opérer le peintre à l'extérieur de la cabine.

Fig. 18. Photo et dessin schématique de l'installation.



## 4.6. Peinture de disques légers mais encombrants dans une cabine à ventilation verticale équipée d'une fosse

### Présentation et description de l'installation

Cette cabine a été spécialement conçue pour peindre les deux faces de disques à l'allure parabolique, et de diamètre pouvant aller jusqu'à 4,50 m. La cabine est à ventilation verticale descendante et comprend une fosse ceinturée de garde-corps en son centre. Cette fosse permet d'accueillir la partie non-utile des pièces en cours de peinture. L'air est soufflé au plafond de la cabine, et aspiré en partie basse sous les caillebotis, ainsi que latéralement dans les parois de la fosse (fig. 19 et 20).

### Caractéristiques

- Dimensions utiles de la cabine :  
L = 12 m, l = 3,2 m, h = 5,4 m
- Profondeur de la fosse : 3,2 m
- Débit de ventilation de la cabine :  
60 000 m<sup>3</sup>/h
- Puissance calorifique : 580 kW

### Mode de fonctionnement

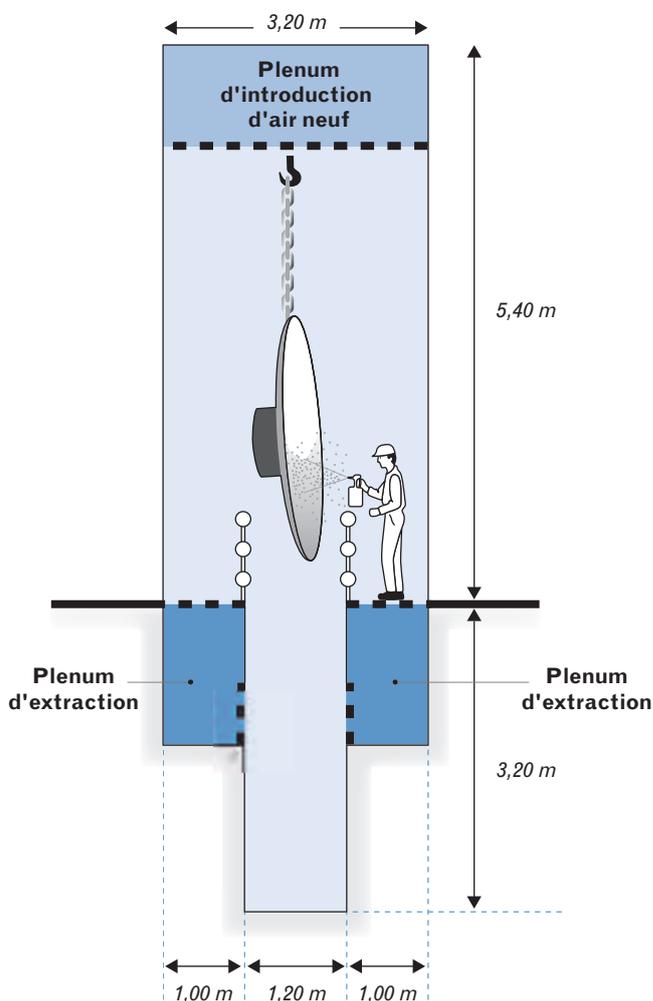
Le revêtement est appliqué sur les deux faces et le temps de travail par pièce est très court. Les pièces étant relativement légères eu égard à leur taille, un système de monte et de baisse provoque les mouvements verticaux avec la rapidité souhaitée, de façon à présenter la partie à recouvrir au niveau des peintres.

Les parties déjà peintes sont accueillies dans la fosse, ce qui permet d'évacuer le dégagement de solvant sans risque pour les opérateurs.

Fig.20. L'installation en fonctionnement.



Fig. 19. Coupe transversale de l'installation.



### Validation

Des mesures de vitesse d'air ont été réalisées à 1,50 m du sol et en 24 points uniformément répartis sur la surface de la cabine. Les vitesses mesurées étaient toutes supérieures à 0,30 m/s

### Commentaires

La solution de ventilation horizontale, les pièces étant posées à plat, a d'abord été examinée. Cependant, divers inconvénients apparaissaient :

- nécessité de prévoir un dispositif rotatif de manière à maintenir l'opérateur du bon côté par rapport à l'aspiration et difficultés de commande de ce dispositif ;
- difficulté de retournement des pièces pour passer à l'autre face ;
- difficulté de disposition de l'entrée d'air neuf de compensation.

Pour la mise à niveau des peintres au cours de l'application, dans le sens de la hauteur comme dans celui de la largeur, la solution d'une plate-forme élévatrice, dont les mouvements auraient dû être très rapides, n'a pas été retenue. La légèreté des pièces et la fosse ont permis de faire travailler le peintre à poste fixe en assurant le déplacement des pièces avec la rapidité souhaitée.

## 4.7. Installation automatique

### Présentation et description de l'installation

La cabine de peinture automatique est intégrée dans une ligne complète de traitement de surface automatisée avec préchauffage, grenaillage et séchage. Elle permet de peindre des tôles, tubes et profilés (longueur comprise entre 3 et 20 m) sur toutes leurs faces en un seul passage.

Les pièces à peindre sont introduites dans la cabine par un convoyeur amont et extraites par un convoyeur aval.

### Caractéristiques

- Hauteur de l'installation : 4,5 m
- Dimensions d'entrée dans la cabine :  
l = 2,1 m, H = 0,75 m
- Débit de ventilation 12 000 m<sup>3</sup>/h

### Mode de fonctionnement

La peinture est appliquée par deux paires de pistolets airless situées en dessous et au-dessus du point de passage des subjectiles, et se déplaçant transversalement (*fig. 21 et 22*).

La hauteur des pistolets de pulvérisation supérieurs est ajustée automatiquement en fonction de la hauteur des pièces à peindre, elle-même détectée par une barrière lumineuse.

La vitesse de travail est comprise entre 1 et 1,5 m/min.

La ventilation est verticale descendante avec aspiration au niveau du sol.

Les parois intérieures de la cabine sont recouvertes d'un revêtement antiadhésif destiné à faciliter leur nettoyage.

### Validation

La vitesse calculée dans les ouvertures est de l'ordre de 1 m/s, ce qui assure l'absence de fuites de polluants vers le reste de l'atelier.

### Commentaires

L'avantage d'une telle installation est principalement la non-exposition des opérateurs (*fig. 23*).

Fig. 21. Coupe transversale de l'installation automatique.

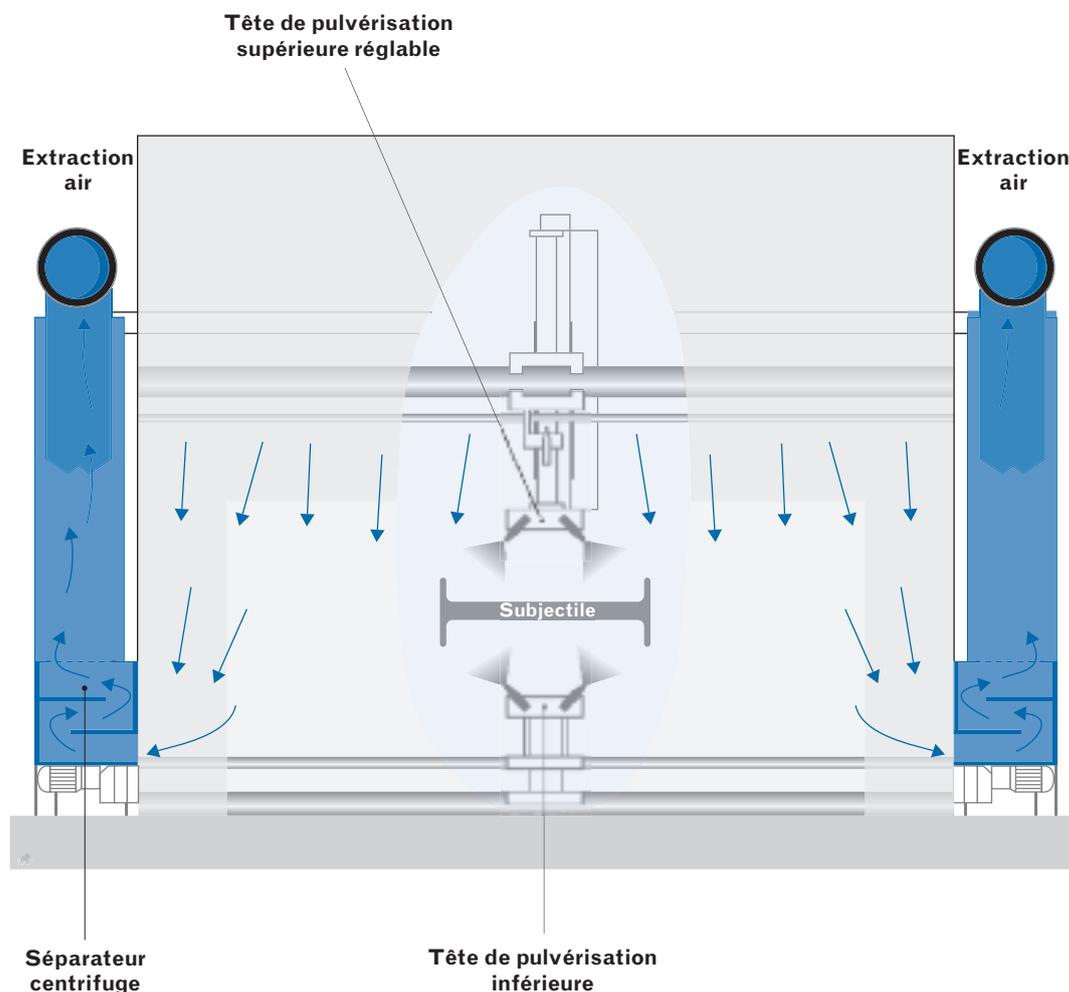


Fig. 22. Coupe longitudinale de l'installation automatique.

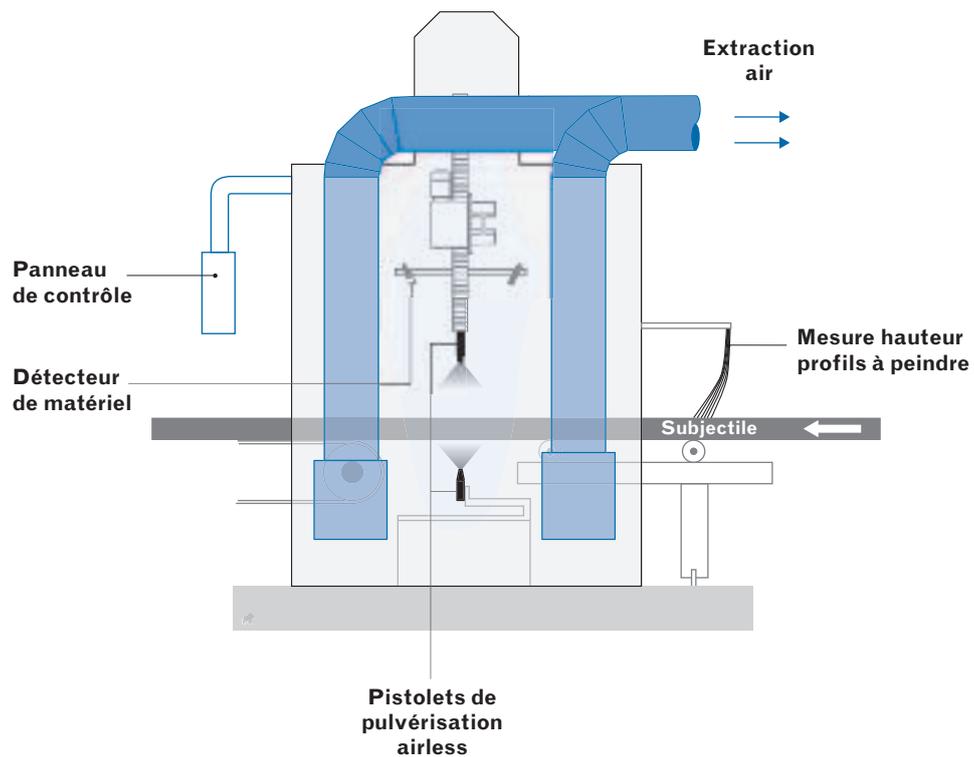


Fig. 23. Cabine de peinture automatique. Au second plan, le caisson de filtration avant rejet.



## 4.8. Hall de peinture d'avions

### Présentation et description de l'installation

Ce hall est prévu pour permettre de peindre un avion de longueur inférieure à 18 m.

L'air est soufflé dans le hall de peinture par un réseau de gaines avec bouches et diffuseurs réglables, répartis suivant les axes définis par le fuselage et les ailes, en fonction de la morphologie de l'avion à peindre. L'extraction est réalisée au sol par des caillebotis sous le fuselage et les ailes (fig. 24).

L'air neuf est filtré avant son injection dans le hall. Il est réchauffé en période

hivernale par un générateur en veine d'air. Des filtres secs assurent son épuration avant rejet à l'extérieur.

### Caractéristiques

Les débits de soufflage et d'extraction sont, en application de peinture, de 70 000 m<sup>3</sup>/h.

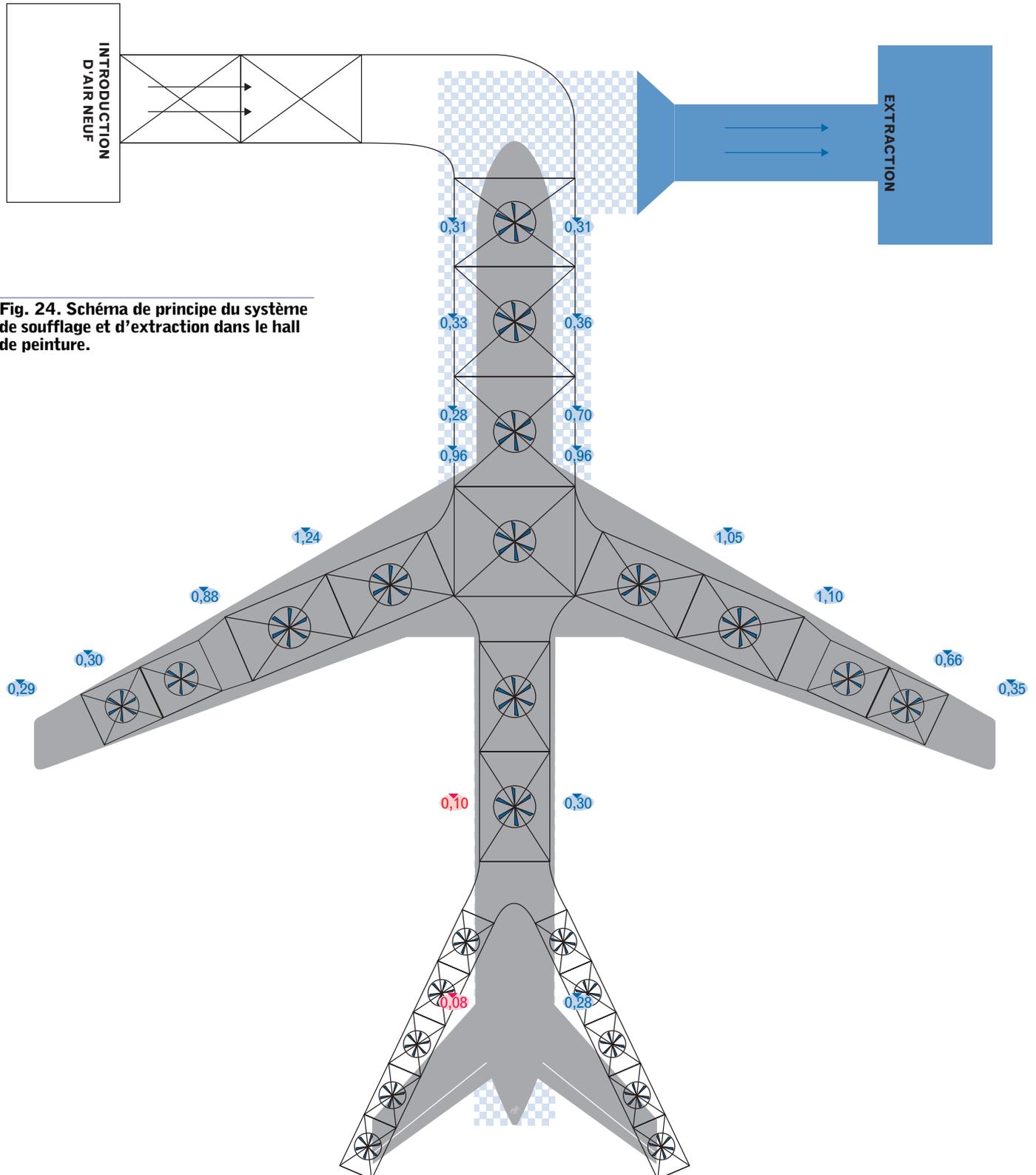


Fig. 24. Schéma de principe du système de soufflage et d'extraction dans le hall de peinture.

### Mode de fonctionnement

L'installation est prévue pour fonctionner à 2 vitesses, une vitesse réduite pour le chauffage étuvage, une grande vitesse pour l'application de peinture.

Compte tenu des peintures utilisées (polyuréthanes), les opérateurs portent des appareils de protection respiratoire.

### Validation

Un avion Falcon 900 a été positionné au-dessus des caillebotis.

Les mesurages ont été effectués à 0,50 m de l'avion et à 1,20 m de hauteur pour les

points le long des ailes et à 1,60 m de hauteur pour les points le long du fuselage.

Les résultats de mesures sont indiqués sur la figure 24.

### Commentaires

Le peinturage sous les ailes et le fuselage reste un problème non résolu. La protection individuelle est requise en permanence.

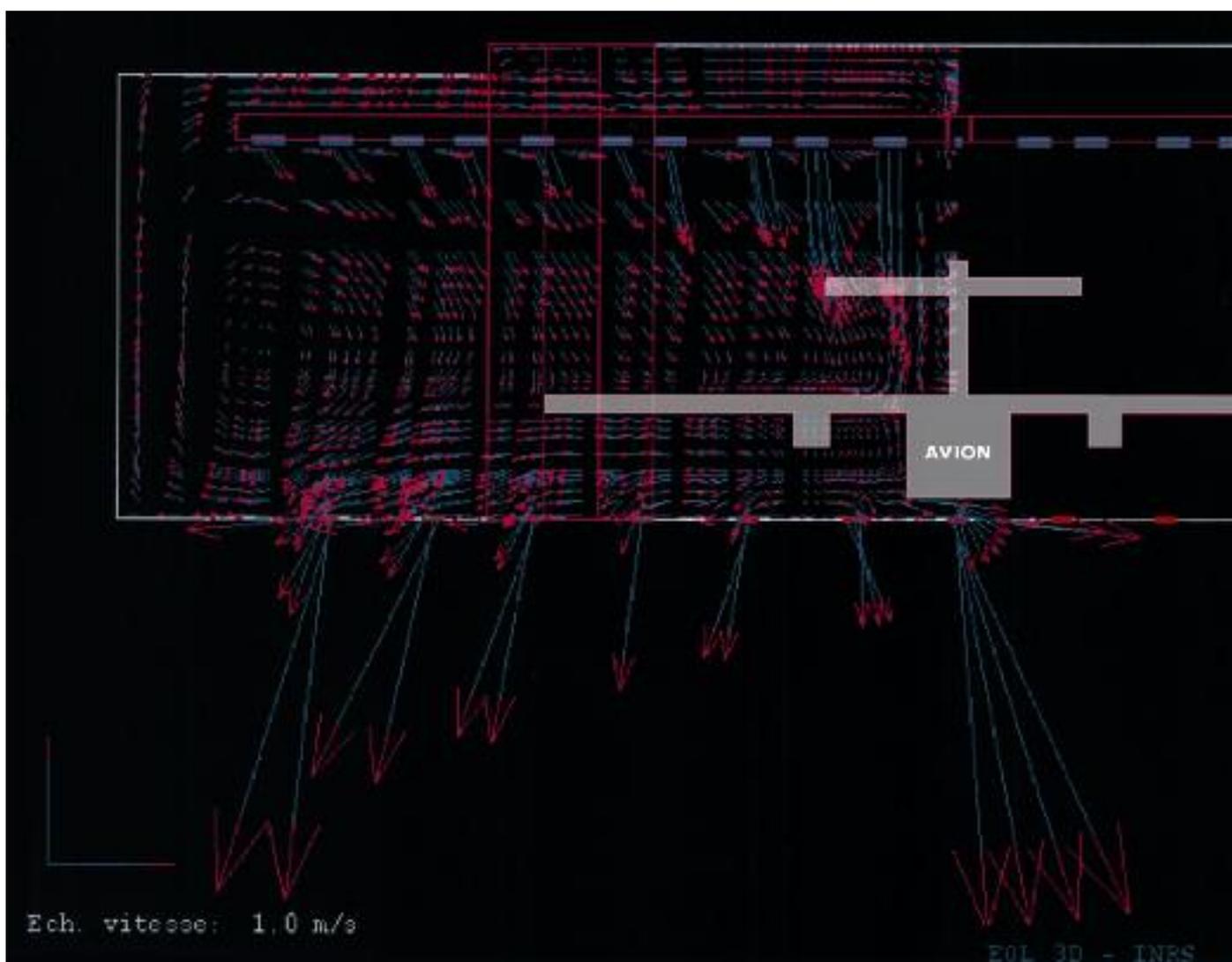
Etant donné les dimensions des pièces à peindre, l'option cabine de peinture à ventilation verticale dans toute la cabine aurait conduit à des débits de l'ordre de

500 000 m<sup>3</sup>/h et n'aurait pas permis de résoudre le problème du peinturage sous le fuselage et les ailes.

On note que, si l'objectif d'une vitesse d'air égale ou supérieure à 0,30 m/s est généralement atteint (sauf aux deux points indiqués en rouge où les filtres, qui avaient été changés un mois auparavant, étaient manifestement encrassés), les valeurs des vitesses ne sont pas uniformes.

De plus, des phénomènes de recirculation apparaissent, comme le montre la simulation de la *figure 25*, effectuée à l'aide du programme de ventilation prévisionnelle EOL 3D – INRS et présentant le champ de vitesses possible dans un plan transversal.

Fig. 25. Simulation EOL-3D du champ des vitesses d'air possible dans un plan transversal.



## 4.9. Hangar de peinture d'avions

### Présentation et description de l'installation

Cet hangar est destiné à la peinture d'avions longs de 54 m, hauts de 8 m et possédant une envergure de 45 m et un empennage de 16,50 m de hauteur.

La ventilation est réalisée à l'aide de jets d'air qui dirigent l'air pollué vers les dispositifs d'aspiration (« push-pull »).

Le soufflage est réalisé de l'avant vers l'arrière de l'avion, par l'intermédiaire de trois unités, l'une pour le fuselage, et les deux autres pour chacune des ailes. L'idée est d'utiliser l'aérodynamisme de l'avion pour favoriser l'écoulement de l'air autour de l'appareil (fig. 26).

L'aspiration est assurée par des dispositifs équipant à la fois les portes du hangar (situées derrière l'appareil) et ses parois latérales.

L'intérieur du hangar est aménagé de telle sorte qu'il épouse au mieux la géomé-

trie de l'avion. Les flux d'air peuvent ainsi être canalisés au plus près des zones d'émission de polluants.

### Caractéristiques

- Débit de soufflage sur le nez de l'avion : 250 000 m<sup>3</sup>/h.
- Débit de soufflage sur chaque aile : 130 000 m<sup>3</sup>/h.

### Mode de fonctionnement

Les peintres sont au nombre de 15 et évoluent simultanément de l'avant vers l'arrière de l'avion sur des passerelles aménagées sur plusieurs étages. Ils portent des appareils de protection respiratoire.

La peinture d'un avion peut prendre plusieurs jours et, dans ce cas, le fuselage est réalisé en premier et les ailes ensuite.

L'air soufflé est réchauffé et l'installation permet deux modes de fonctionnement : peinture ou étuvage

### Validation

La moyenne des vitesses d'air mesurées est de 0,81 m/s sur 159 mesures réalisées.

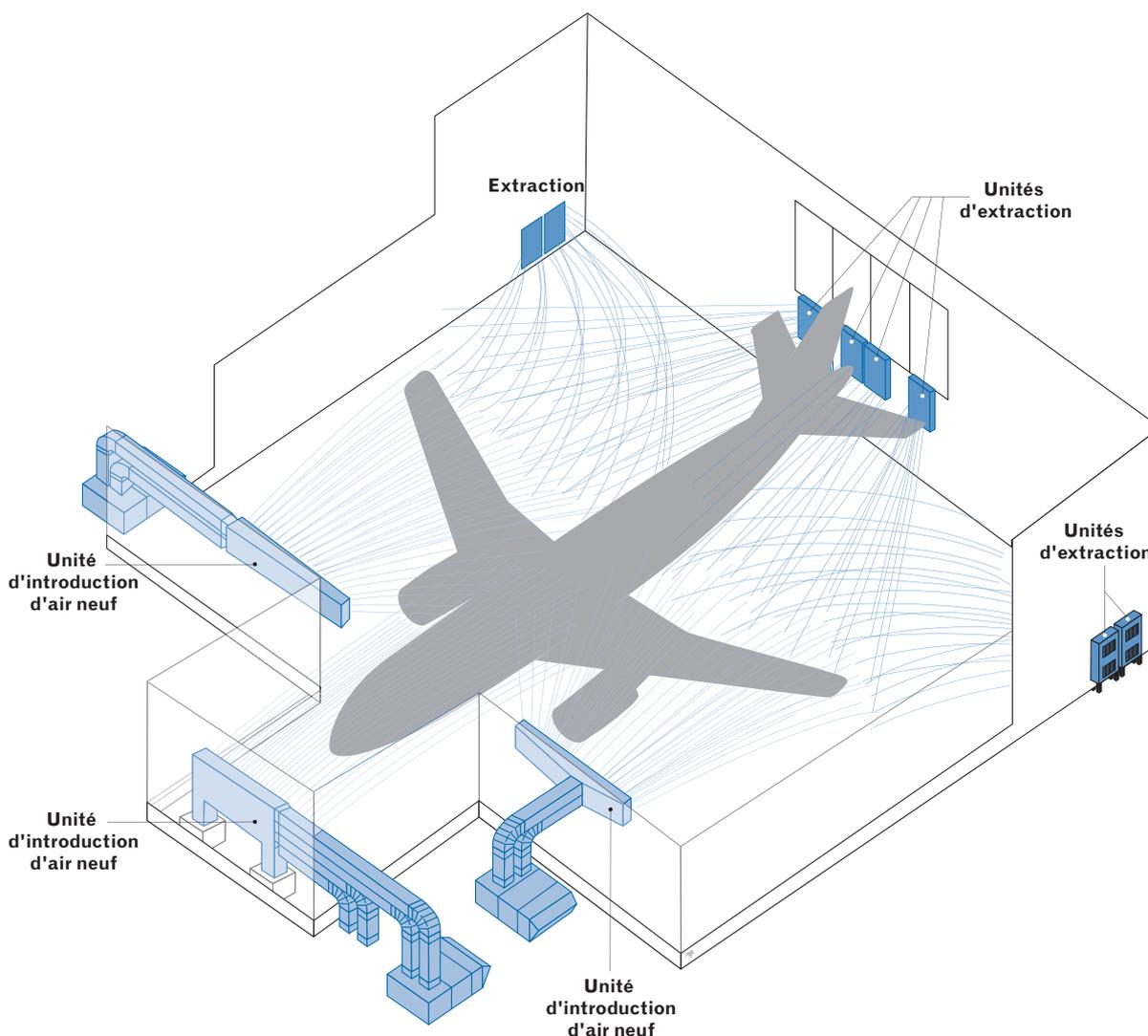
### Commentaires

Les idées développées sont intéressantes (bâtiment épousant la forme de l'avion, ventilation « push-pull » utilisant l'aérodynamisme de l'avion).

Cependant, pour des raisons de qualité du revêtement (risque de déposer à nouveau de la peinture sur une surface déjà peinte), la peinture est réalisée en progressant dans le sens du soufflage. Ceci place les peintres dans le flux d'air chargé en polluants issus de la désolvatation et les contraints à utiliser des appareils de protection respiratoire.

En revanche, les vitesses d'air engendrées pourraient très certainement offrir la possibilité de travailler sans protections respiratoires, à condition de réaliser la peinture de l'arrière vers l'avant.

Fig. 26. Schéma des flux d'air dans le hangar.



## BIBLIOGRAPHIE

Documents édités par l'INRS, disponibles auprès des CARSAT/CRAMIF/CGSS et sur [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) (ou [www.hst.fr](http://www.hst.fr) pour certains)

- Aide mémoire juridique - Aération et assainissement des lieux de travail. Paris, INRS, 2007, TJ 5, 34 p.
- Guide pratique de ventilation n° 0 - Principes généraux de ventilation. Paris, INRS, 1989, ED 695, 36 p.
- Guide pratique de ventilation n° 1 - L'assainissement de l'air des locaux de travail. Paris, INRS, 1989, ED 657, 19 p.
- Guide pratique de ventilation n° 9.1 - Cabines d'application par pulvérisation de produits liquides. Paris, INRS, 2008, ED 839, 22 p.
- Guide pratique de ventilation n° 8 - Ventilation des espaces confinés. Paris, INRS, 2015, ED 703, 9 p.
- Guide pratique de ventilation n° 10 - Le dossier d'installation de ventilation. Paris, INRS, 2007, ED 6008.
- Peinture en phase aqueuse (ou peinture à l'eau). Composition, risques toxicologiques, mesures de prévention. Paris, INRS, 2005, ED 955.
- Peinture en solvants. Composition, risques toxicologiques et mesures de prévention. Paris, INRS, 2005, ED 971.

- Contrôle pratique de l'encrassement des filtres d'un système de ventilation, cas des cabines de peintures fermées. 1988, ND 1684. Uniquement en pdf sur [www.hst.fr](http://www.hst.fr)

- Améliorer le fonctionnement aéraulique d'une aire ventilée avec paroi et compensation mécanique. 1999, ND 2111. Uniquement en pdf sur [www.hst.fr](http://www.hst.fr)

- Systèmes de compensation d'air - Contribution à leur conception pour les locaux de travail. 1999, ND 2118. Uniquement en pdf sur [www.hst.fr](http://www.hst.fr)

- Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation. Paris, INRS, 2011, ED 6106, 64 p.

### Normes

- NF EN 746-1 – Équipements thermiques industriels – Partie 1 : Prescriptions générales de sécurité pour les équipements thermiques industriels, Juin 1997.

- NF EN 746-2 – Équipements thermiques industriels – Partie 2 : Prescriptions de sécurité concernant la combustion et la manutention des combustibles, Juin 1997.

- NF EN 746-3 – Équipements thermiques industriels – Partie 3 : Prescriptions de sécurité pour la génération et l'utilisation des gaz d'atmosphère, Juin 1997.

- NF EN 1539 – Séchoirs et fours dans lesquels se dégagent des substances inflammables – Prescriptions de sécurité, Janvier 2010.

- NF T 35-014 – Box de préparation des peintures – Installations d'application et de séchage des peintures et vernis – Conception, caractéristiques de fonctionnement, Décembre 2004.

- NF X 10-112 – Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées – Méthode d'exploration du champ des vitesses pour des écoulements réguliers au moyen de tubes de Pitot doubles, Septembre 1977.

Ces normes peuvent être obtenues en s'adressant à :

L'Association française de normalisation (AFNOR)

11, avenue de Pressencé

93571 SAINT-DENIS LA PLAINE Cedex

[www.afnor.fr](http://www.afnor.fr)